



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

## Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

## Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

QC  
705  
S4

UC-NRLF



⌘B '24 277

YC 10978

LIBRARY  
OF THE  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

GIFT OF

*Roscoe Wier*

*Class*



**Abhängigkeit der Tonhöhe  
einer musikalischen Bogenlampe  
von Kapazität,  
Selbstinduktion u. Polspannung.**

---

**Inaugural-Dissertation**

zur

**Erlangung der Doktorwürde**

der

physischen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

**Richard Schalhorn**

aus Berlin.

---

Rostock 1906

Elchemeyer & Fett, G. m. b. H.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIPPS EXETER

1891

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIPPS EXETER

1891

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIPPS EXETER

1891

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIPPS EXETER

1891

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHILIPPS EXETER

1891

**Abhängigkeit der Tonhöhe  
einer musikalischen Bogenlampe  
von Kapazität,  
Selbstinduktion u. Polspannung.**

**Inaugural-Dissertation**

zur

**Erlangung der Doktorwürde**

der

**hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock**

vorgelegt von

**Richard Schalhorn**

aus Berlin.



**Rostock 1906**

Eichemeyer & Fett, G. m. b. H.

9.9,7c5  
S4

**Referent: Professor Dr. Martens.**



U<sup>2</sup>.

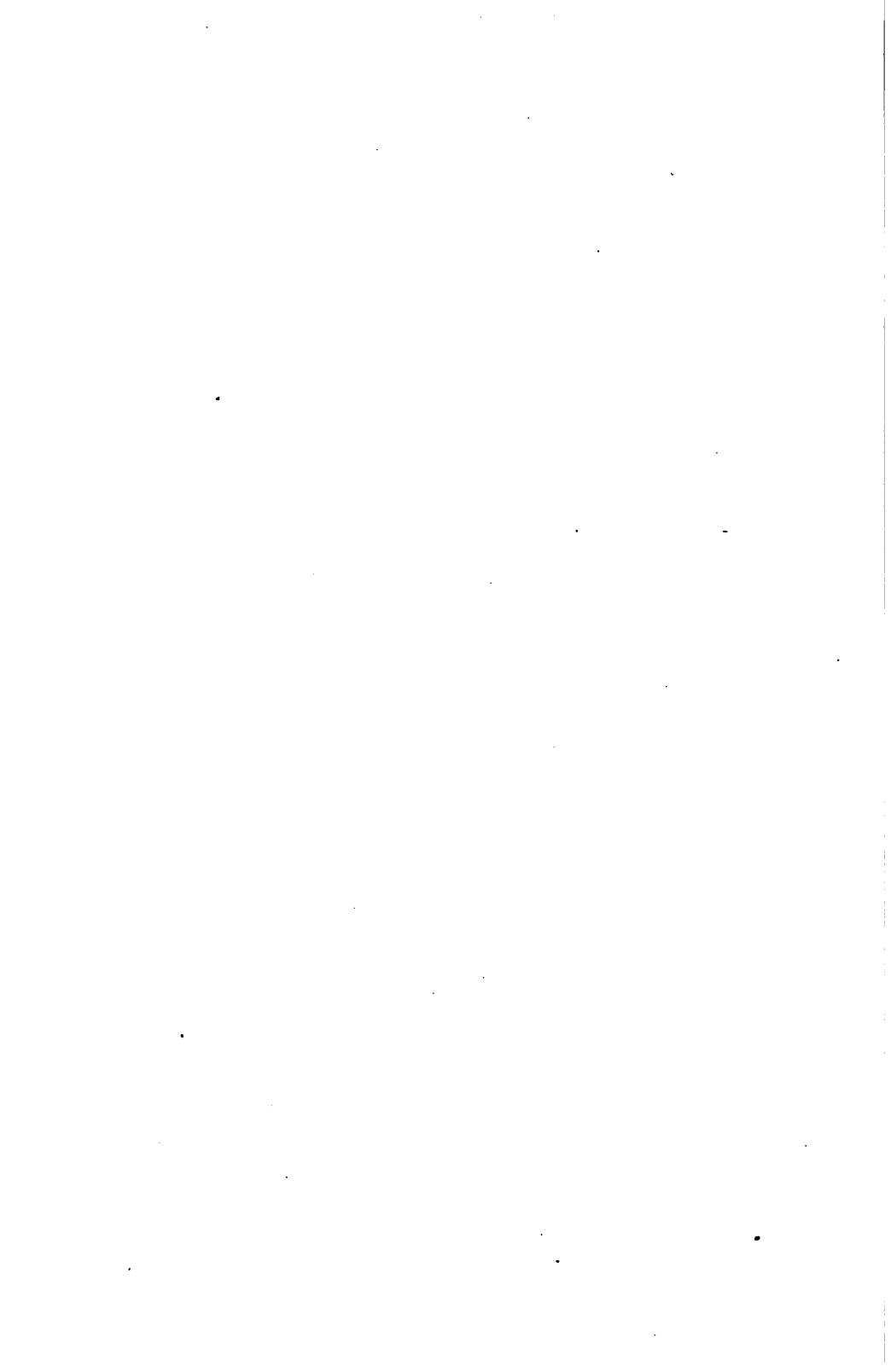
**Meiner lieben Mutter  
und dem Andenken meines Vaters.**



# Inhalt.

---

- I. Einleitung.
  - II. Methoden und Apparate.
    - a) Handregulator.
    - b) Schaltung.
    - c) Rotierender Spiegel.
    - d) Meßverfahren und Berechnung.
  - III. Abhängigkeit der Tonhöhe von Kohlenabstand, Kapazität und Selbstinduktion.
  - IV. Elektrodenspannung und Kohlenabstand.
  - V. Klemmspannung des Kondensators.
  - VI. Stromstärke und Kohlenabstand.
  - VII. Der Bogen als Téléphon-Übertragungsapparat.
  - VIII. Ergebnis der Untersuchung.
-





## I. Einleitung.

---

Zu Anfang des vorigen Jahrhunderts entdeckte Sir Humphry Davy den elektrischen Lichtbogen, der in der modernen Technik eine große Bedeutung hat. Im Jahre 1898 fand Th. Simon<sup>1)</sup> in Göttingen, daß ein dem Hauptstrom einer Gleichstrombogenlampe sich überlagernder Wechselstrom ein Zischen und Pfeifen des Lichtbogens verursacht. Diese Tatsache zu erklären bemühten sich Mrs. Ayrton<sup>2)</sup>, W. Duddel<sup>3)</sup>, W. Peukert<sup>4)</sup>, O. Hartmann<sup>5)</sup> und andere Physiker.

Das Zischen wird auf die Volumenänderung des Lichtbogens und auf die wechselnde Zahl der verdampften Kohlenmoleküle zurückgeführt. Außerdem kann in Betracht gezogen werden, daß der Lichtbogen kein homogenes Ganze darstellt, sondern aus einer gewissen Zahl von Stromfäden zusammengesetzt ist, die sich wie elastische Bänder verhalten und einander

---

<sup>1)</sup> Th. Simon. Akustische Erscheinungen am elektrischen Flammenbogen. Ann. d. Phys. u. Chemie 64, 1898, S. 233.

<sup>2)</sup> Ayrton. The electric Arc. London. 1902.

<sup>3)</sup> W. Duddel. The Electrician. 1900 u. 1903.

<sup>4)</sup> W. Peukert. Beiblätter z. d. Ann. d. Phys. 1901, S. 721. Elektrotechnische Zeitschrift 22, 1901, S. 467—468.

<sup>5)</sup> O. Hartmann. Beiblätter z. d. Ann. d. Phys. 23, 1899, S. 1040. Elektrotechnische Zeitschrift 20, 1899, S. 369—370.

bei Verstärkung oder Schwächung des Stromes mehr oder weniger abstoßen.

Die Schallwirkungen einer Bogenlampe sind auf viele Meter noch genau wahrnehmbar. Um die günstigsten Wirkungen zu erzielen, ist es nötig, die Amplituden der dem Gleichstrom aufgeprägten Stromschwingungen möglichst groß zu machen. Braun<sup>1)</sup> weist ferner darauf hin, daß bei gleicher Amplitude der Stromschwankungen bei zunehmender Lampenstromstärke bessere Erfolge zu erreichen seien.

Da nämlich die Joule'sche Wärme  $i^2 w$  proportional ist, so ist der durch den Zuwachs  $di$  bewirkte Wärmezuwachs  $2i w di$ , d. h. der Betriebsstromstärke proportional. Vorteilhaft ist es hiernach auch, wie Simon<sup>2)</sup> in seiner ersten Arbeit zeigte, lange Flammenbogen zu erzielen, d. h.  $W$  groß zu machen; wird derselbe indeß zu lang, so hört das Tönen plötzlich auf.

Die folgenden Untersuchungen über die Abhängigkeit der Tonhöhe der musikalischen Bogenlampe von Kapazität, Selbstinduktion und Polspannung sind von Herrn Professor Dr. Wachsmuth angeregt worden. Die zuerst angestellten Versuche mit Hilfe der Kundt'schen Staubfiguren die Schwingungszahl und dadurch die Tonhöhe zu bestimmen, versagten, da das Pfeifen zu schwach war, und der Lycopodiumsamen in den Glasröhren keine Staubfiguren zeigte. Die folgenden Versuche wurden daher mit dem rotierenden Spiegel ausgeführt.

<sup>1)</sup> Braun. Wied. Ann. d. Phys. 1898. Bd. 65, S. 358.

<sup>2)</sup> Th. Simon. Ann. d. Phys. u. Chemie Bd. 64. 1898. S. 233.

## II. Methoden und Apparate.

### a) Handregulator.

Die zu den Versuchen benutzte Bogenlampe ist ein einfacher Handregulator (Fig. 1). Die Säule eines schweren eisernen Statives trägt 3 horizontale Hartgummistangen (f). Am freien Ende des oberen Armes

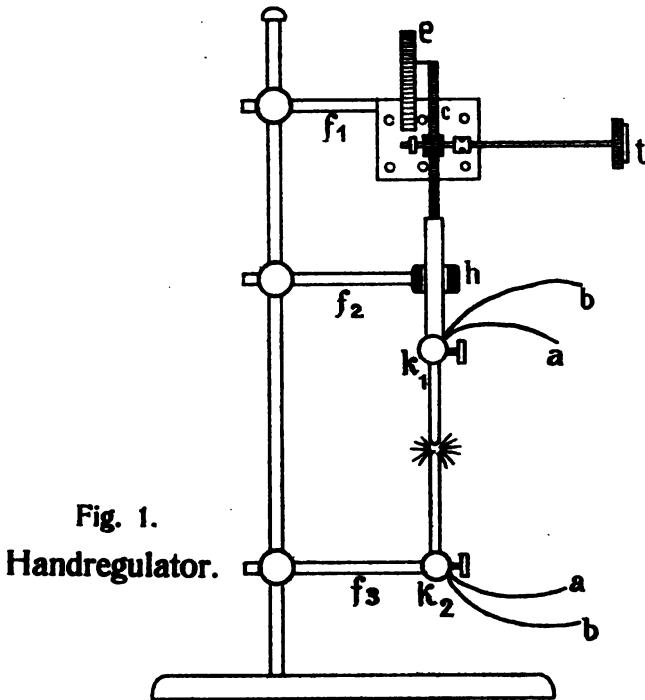


Fig. 1.  
Handregulator.

ist eine Messingplatte angebracht; auf dieser gleitet die Zahnstange (c), welche durch den Trieb (t) auf und nieder bewegt werden, und deren Stellung an der Skala (e) abgelesen werden kann. Am unteren Ende



der Zahnstange (c) ist ein Messingrohr befestigt, welches durch den Führungsring (h) hindurch geht. Das untere Ende der Messingstange trägt mit Hülfe einer Klemme ( $k_1$ ) die obere Kohle, während die untere Kohle von einer festen Klemme ( $k_2$ ) gehalten wird. Primärstrom und Sekundärstrom werden durch die Klemmen ( $k_1$  u.  $k_2$ ) den Kohlen zugeführt. Bei den Versuchen wurden 12 mm Homogenkohlen benutzt.

### **b) Schaltung.**

Die Schaltung ist aus Fig. 2 ersichtlich. Die der Lampe durch den Hauptstromkreis zugeführte Stromstärke wurde mit einem Präzisionsamperemeter (A) von Siemens & Halske mit passendem Nebenschluß gemessen. W ist ein Regulierwiderstand aus Manganindraht und E ist die Stromquelle. Der Strom wurde dem städtischen Leitungsnetz, welches 220 Volt Spannung hat, entnommen. Die Spannung an den Elektroden wurde in Stromkreis (3) mit einem Hitzdrahtvoltmeter (V) von Hartmann und Braun <sup>1)</sup> bestimmt.

### **c) Rotierender Spiegel.**

Die von dem Bogen ausgehenden Strahlen werden durch eine Linse (L) nach Reflektion am Spiegel (S) (Fig. 2) auf die photographische Platte geworfen. Die Entfernung der Platte vom Spiegel ist so eingestellt, daß auf der Platte ein scharfes Bild des Lichtbogens entsteht. Der Spiegel (S) ist auf der

<sup>1)</sup> Das Hitzdrahtvoltmeter ist von der Firma Tischbein & Schwiedeps bereitwilligst zur Verfügung gestellt worden, wofür ich hiermit meinen besten Dank ausspreche.

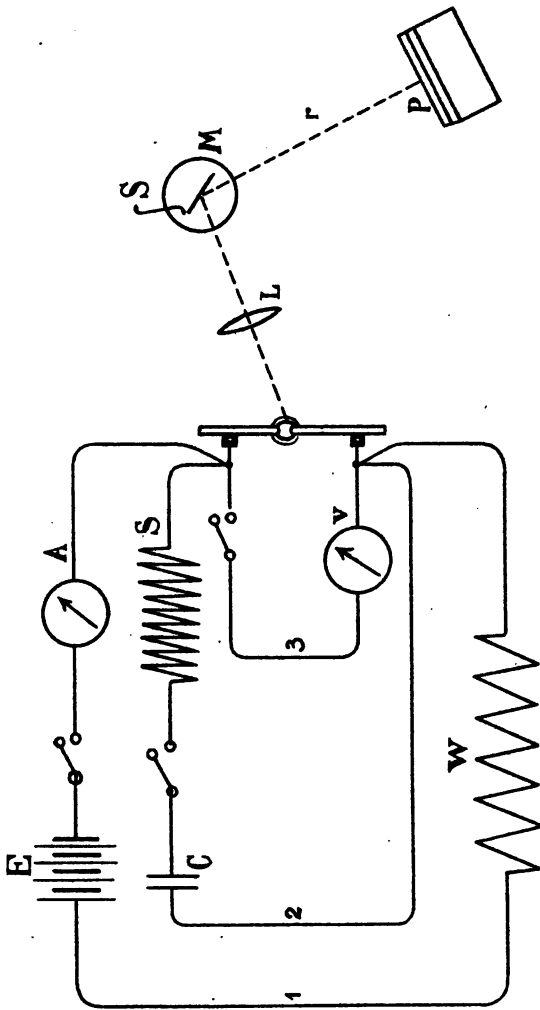


Fig. 2.  
Schaltung und rotierender Spiegel.

vertikalen Achse eines Motors befestigt, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit durch einen passenden Vorschaltwiderstand reguliert werden kann. Die photographische Platte (P) befindet sich an der Rückseite

eines Holzkastens, an der vorderen Seite ist ein Momentschlitzverschluß angebracht. Der Momentverschluß belichtet die Platte in dem Augenblick, wo der Spiegel ein Bild des Bogens auf die Platte wirft, so daß nur ein einziges und nicht mehrere aufeinander gelagerte Bilder entstehen.

Da die Platten sehr lichtempfindlich sind, ist sowohl die Lampe als auch Linse und Spiegel in einen Pappkasten gestellt, so daß nur der von dem Spiegel reflektierte Strahl auf die Platte gelangt und dieselbe belichtet.

#### d) Meßverfahren und Berechnung.

Der Motor drehte sich so langsam, daß man leicht die einzelnen Umdrehungen erkennen konnte. Es wurde mit einer Springuhr die Zeit gemessen, in

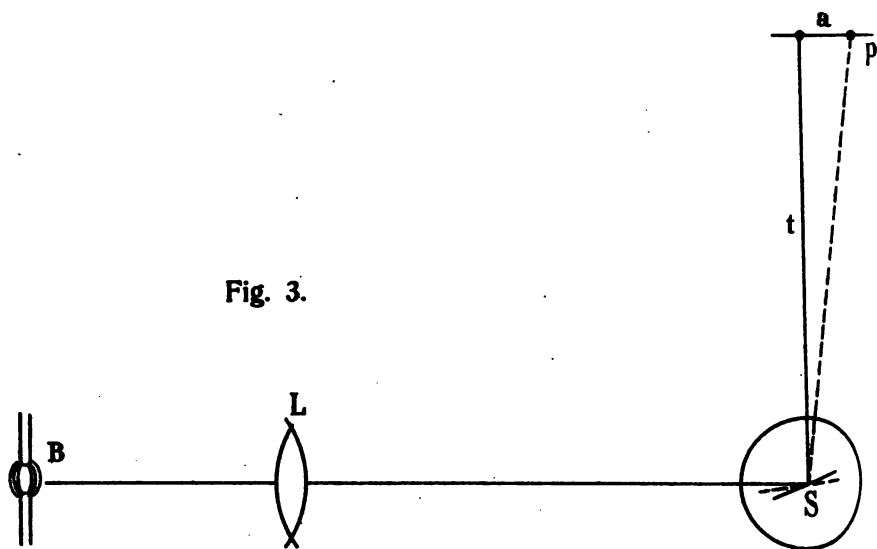


Fig. 3.

der etwa 20 Umdrehungen gemacht wurden. Ist (N) die Anzahl der Umdrehungen in einer Sekunde, so ist  $T = \frac{1}{N}$  die Umdrehungszeit. Bezeichnen wir mit (T) die Zeit, in welcher 2 Maxima des Lampenstromes und damit der Lampenhelligkeit aufeinander folgen, so ist  $n = \frac{1}{T}$  die Zahl der Maxima in 1 Sekunde. Auf der entwickelten Platte wurde der Abstand (a) zweier Helligkeitsmaxima bestimmt. (Fig. 3). Die Entfernung (r) des Spiegels (S) von der Platte (P) wurde mit einem Maßstab nach jeder Aufnahme gemessen.

In  $\tau$  Sekunden legt der reflektierte Strahl den Weg  $4 \pi r$  zurück, da derselbe sich doppelt so schnell dreht als der Spiegel; in 1 Sekunde also den Weg  $\frac{4 \pi r}{\tau}$ ; in T Sekunden den Weg  $a = \frac{4 \pi \cdot r \cdot T}{\tau}$ . Da nun  $\frac{1}{T} = n$  gesetzt werden kann, so ist die Schwingungszahl des Lampenstromes oder die Tonhöhe des Lampentones

$$1) \quad n = \frac{4 \pi r}{\tau \cdot a}.$$

### III. Abhängigkeit der Tonhöhe von Kohlenabstand, Kapazität und Selbstinduktion.

In folgenden 4 Tabellen und den Tafeln, am Schlusse der Arbeit, sind die gemachten Versuche zusammengestellt.

Tabelle I.

Kapazität = 3,226 Mikrofarad.

| $M$ | Kohlen-<br>abstand<br>in mm | Ent-<br>fernung<br>r in cm | Touren-<br>zahl des<br>Spiegels<br>pro Min. | Schwing-<br>ungs-<br>zahl n<br>pro Sek. | L      |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---|---|--------|
| 1   | 0,5                         | 78                         | 200   | 2041                                    | 0,0019 |
| 2   | 1                           | 78                         | 200   | 1814                                    | 0,0024 |
| 3   | 1,5                         | 78                         | 200   | 1555                                    | 0,0032 |
| 4   | 2,0                         | 78                         | 172   | 1399                                    | 0,0040 |
| 5   | 2,5                         | 78                         | 200   | 1256                                    | 0,0050 |
| 6   | 3,0                         | 78                         | 120   | 1160                                    | 0,0058 |
| 7   | 3,5                         | 78                         | 150   | 1289                                    | 0,0048 |
| 8   | 4,0                         | 58,6                       | 150   | 1082                                    | 0,0068 |
| 9   | 4,5                         | 77                         | 100   | 1239                                    | 0,0052 |

Tabelle II.

Kapazität = 2,757 Mikrofarad.

| $M$ | Kohlen-<br>abstand<br>in mm | Ent-<br>fernung<br>r in cm | Touren-<br>zahl des<br>Spiegels<br>pro Min. | Schwing-<br>ungs-<br>zahl n<br>pro Sek. | L      |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---|---|--------|
| 1   | 0,5                         | 92                         | 172   | 2407                                    | 0,0016 |
| 2   | 1,0                         | 87                         | 200   | 2142                                    | 0,0020 |
| 3   | 1,5                         | 87                         | 240   | 2023                                    | 0,0023 |
| 4   | 2,0                         | 90                         | 150   | 1766                                    | 0,0030 |
| 5   | 2,5                         | 90                         | 150   | 1662                                    | 0,0034 |
| 6   | 3,0                         | 86                         | 172   | 1543                                    | 0,0040 |
| 7   | 5,0                         | 84                         | 100   | 1256                                    | 0,0060 |

Tabelle III.  
Kapazität 0,469 Mikrofarad.

| Nr. | Kohlen-<br>abstand<br>in mm | Ent-<br>fernung<br>r in cm | Touren-<br>zahl des<br>Spiegels<br>pro Min. | Schwing-<br>ungs-<br>zahl n<br>pro Sek. | L      |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---|---|--------|
| 1   | 0,5                         | 84                         | 150   | 4396                                    | 0,0028 |
| 2   | 1,0                         | 80                         | 150   | 4186                                    | 0,0030 |
| 3   | 1,5                         | 76                         | 150   | 3872                                    | 0,0036 |

Tabelle IV.  
Kapazität 0,224 Mikrofarad.

| Nr. | Kohlen-<br>abstand<br>in mm | Ent-<br>fernung<br>r in cm | Touren-<br>zahl des<br>Spiegels<br>pro Min. | Schwing-<br>ungs-<br>zahl n<br>pro Sek. | L      |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---|---|--------|
| 1   | 0,5                         | 84                         | 200   | 7034                                    | 0,0023 |
| 2   | 1                           | 84                         | 200   | 5861                                    | 0,0033 |

In Figur 4 ist die Schwingungszahl des Tones als Funktion des Kohlenabstandes dargestellt. Man findet, daß in jeder der 4 Kurven bei dem geringsten Kohlenabstande der Ton am höchsten ist. Derselbe fällt allmählich und versagt, wie Kurve 1 u. 2. zeigen, bei 4 bis 5 mm dadurch, daß entweder das Pfeifen aufhört oder der Bogen überhaupt abreißt. Auffallend ist, daß in Kurve 1 schon bei 3 mm Kohlenabstand dieselbe Tonhöhe wie bei 5 mm erreicht ist. Man kann sich dies eigentlich nur dadurch erklären, daß bei noch bedeutend größeren Kapazitäten wahrscheinlich der Kohlenabstand keine große Rolle spielen, sondern es bei verschiedenen Kohlenabständen vielleicht nur

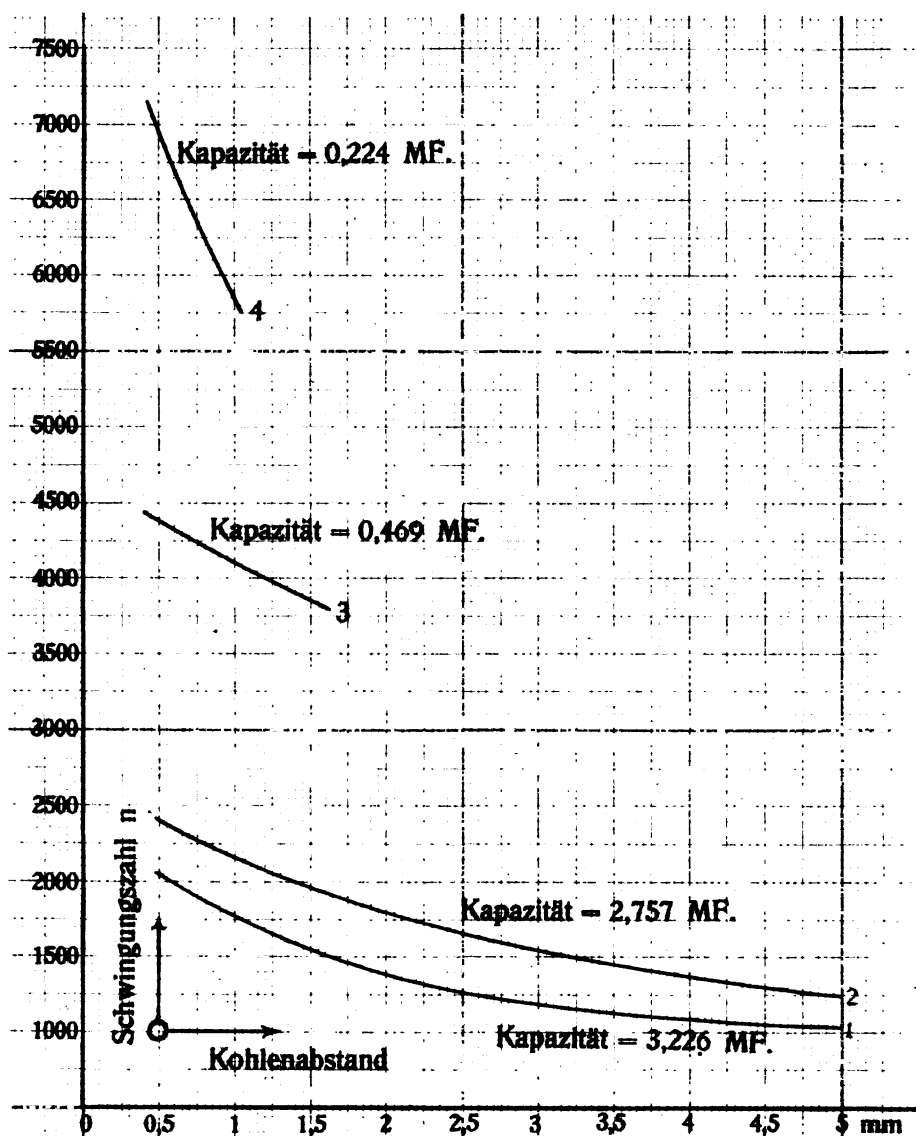


Fig. 4.





ein und denselben Ton geben würde. Diese Annahme wird durch Kurven 2, 3, 4 bestärkt, weil bei schwächeren Kapazitäten die Kurven schließlich zu einer geraden Linie werden.

Betrachtet man die Kurven 1, 2, 3, 4, so findet man, daß die Töne der pfeifenden Bogenlampe bei großen Kapazitäten sehr tief und bei kleinen Kapazitäten sehr hoch liegen. In Kurve 4 ist die Schwingungszahl so groß, daß die Töne von dem menschlichen Ohr kaum noch zu vernehmen waren. Die größte erreichte Schwingungszahl ist  $n = 7034$  pro Sekunde. Dieselbe entspricht einer Tonhöhe  $a^5$ .

Mr. Frotter<sup>1)</sup> fand, daß der pfeifende Bogen rotiert und der Strom sich durch den Bogen periodisch ändert, indem die Frequenz dieser Änderungen dieselbe war wie die Höhe des erzeugten pfeifenden Tones und wie die Rotationsgeschwindigkeit des Bogens. Nach diesen Beobachtungen erklärt Duddel<sup>2)</sup>, daß die Töne durch oscillirende Ströme hervorgebracht werden, die in dem von der Kapazität, der Selbstinduktion und dem Bogen gebildeten Stromkreise fließen. Die Dauer  $T$  der Schwingungen, welche sich in dem System von Kapazität und Selbstinduktion ausbilden, d. h. die Eigenschwingungsdauer des Stromkreises, berechnet man nach der bekannten Thomson'schen Formel

$$2) \quad T = 2 \pi \cdot \sqrt{L \cdot C} \quad 3)$$

---

<sup>1)</sup> The Electrician 1894. Bd. 33. S. 298.

<sup>2)</sup> Duddel. The Electrician 1903.

<sup>3)</sup> W. Peukert. Beiblätter zu den Ann. d. Phys. 1901. S. 721.

wo  $L$  die Selbstinduktion und  $C$  die Kapazität ist. Nach Umformung ist

$$T = \frac{1}{n} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C} \text{ oder } \frac{1}{n^2} = 4\pi^2 \cdot L \cdot C;$$

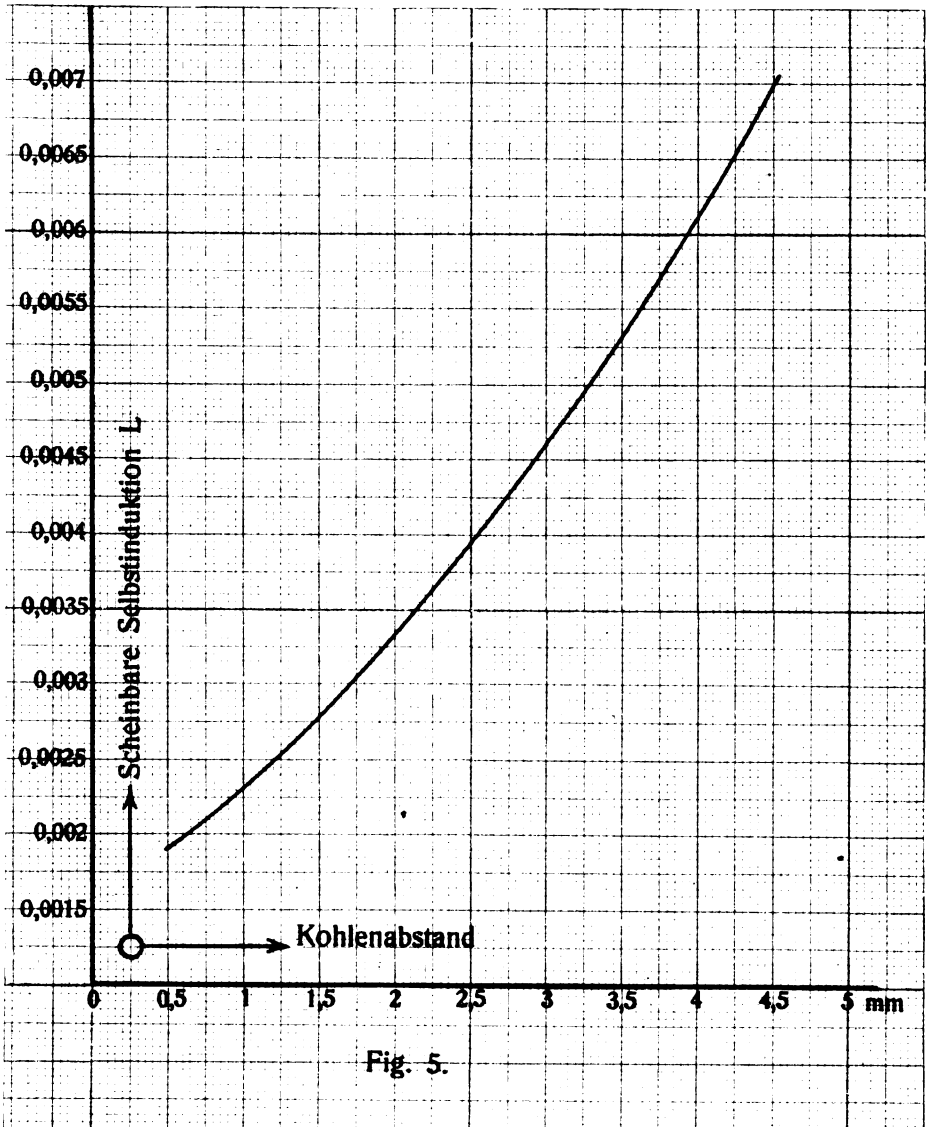
$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot n^2 \cdot C} = \frac{1}{\omega^2 \cdot C},$$

wenn  $\omega = 2\pi n$  gesetzt ist. Nach obiger Formel sind die in den Tabellen angegebenen und in Fig. 5 graphisch dargestellten Werte von  $L$  berechnet worden. Man sieht, daß  $L$  mit wachsendem Kohlenabstand zunimmt und bei verschiedenen Kapazitäten ungefähr denselben Wert hat, wenn der Kohlenabstand der gleiche ist. Die geringen Abweichungen, die man beim Vergleich der 4 Tabellen antrifft, kann man auf die Unzuverlässigkeit der Papierkondensatoren zurückführen. Bei allen Versuchen war eine Selbstinduktion von 0,003 Henry eingeschaltet. Die Tonhöhe bleibt beim Ausschalten der letzteren unverändert.

Sowie der Lichtbogen aufhört zu pfeifen, verschwindet der Wechselstrom, und es ist nur noch Gleichstrom vorhanden. Man muß sich vergegenwärtigen, wie Duddel<sup>1)</sup> sagt, daß die Kraftquelle nicht wechselnden Strom gibt, obgleich man durch Kapazität und Selbstinduktion einen Wechselstrom hat, und daß es der Bogen selbst ist, der als Konverter wirkt und einen Teil des Gleichstromes in wechselnden umformt. Die Frequenz desselben kann innerhalb sehr weiter Grenzen durch Variation der Kapazität verändert werden. Die Beziehung zwischen Kapazität und Frequenz kann dadurch sehr leicht gezeigt werden,

---

<sup>1)</sup> Duddel. The Electrician 1903.



daß man die eine oder die andere Größe verändert. Der eine Kondensatorkasten war z. B. mit Stöpseln versehen, so daß man die Kapazität beliebig verändern

konnte. Durch das Entfernen und Hereinstecken der Stöpsel konnte ein Akkord hervorgerufen werden. Die Tonhöhe des pfeifenden Bogens kann daher zur Vergleichung zweier Kapazitäten benutzt werden.

Als Resultat ergibt sich, daß eine Änderung der Kapazität  $C$  den von Formel 2 vorausgesagten Einfluß auf die Tonhöhe  $\frac{1}{T}$  hat; denn es ergeben sich dieselben Werte von  $L$  aus den Beobachtungen mit ganz verschiedenen Kapazitäten.

Die Selbstinduktion  $L$  ist aber durchaus nicht identisch mit der Selbstinduktion der zugeschalteten Spule, die nur 0,003 Henry betrug. Vielmehr scheint der Bogen selbst eine gewisse scheinbare Selbstinduktion zu besitzen, welche angenähert dem Kohlenabstand proportional ist. Die Selbstinduktion einer Spule wird bekanntlich durch die Ausstrahlung magnetischer Energie bewirkt, welche dem Anwachsen des Stromes entgegen wirkt. Beim Lichtbogen kann die Ausstrahlung magnetischer Energie nicht die große Selbstinduktion herbeiführen. Es wird vermutet, daß die Energie zur Erwärmung der negativen Kohlenspitze verwandt wird. Bei Abnahme der Spannung würde die erhöhte Temperatur den Strom noch eine Weile aufrecht erhalten und also ähnlich so wirken, wie die Rückstrahlung der magnetischen Energie einer Spule.

---

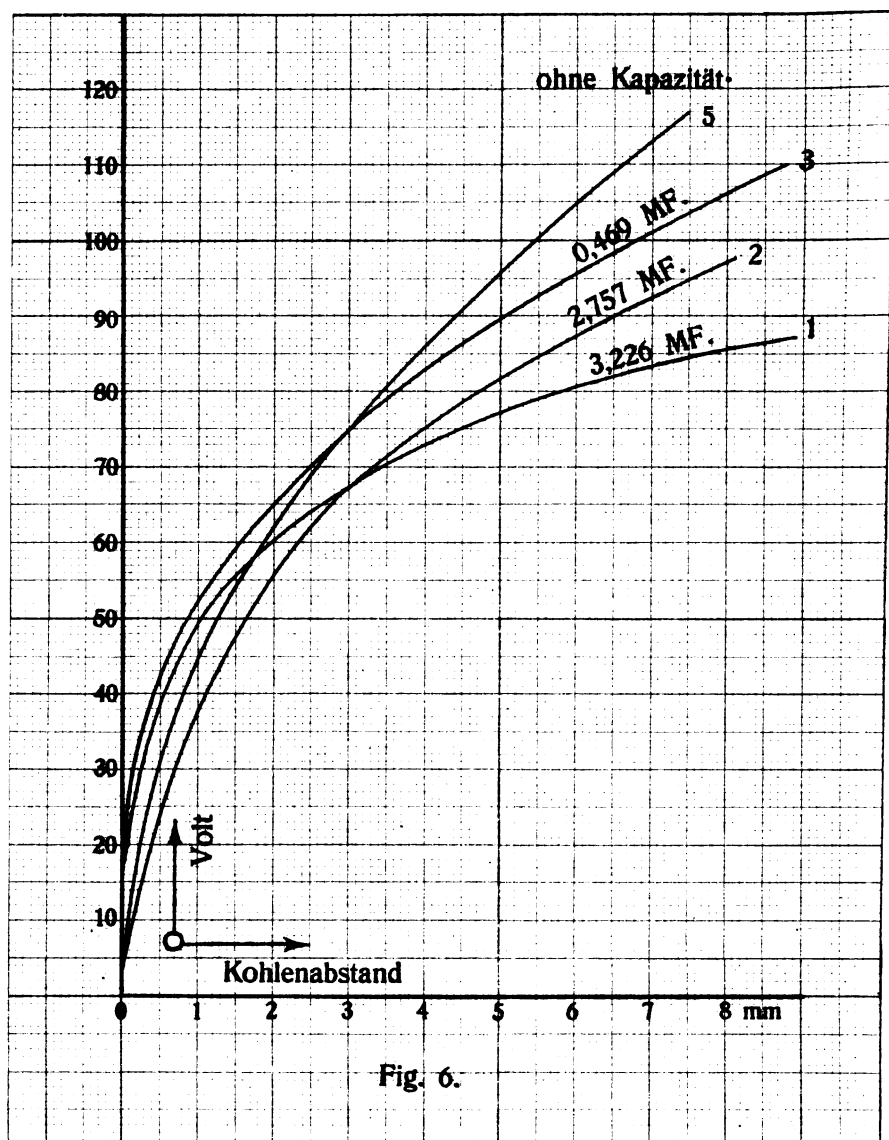
## IV. Elektrodenspannung und Kohlenabstand.

---

Wie schon in der Versuchsanordnung gezeigt worden ist, wurde die Elektrodenspannung unmittelbar an den Kohlen abgenommen. Fig. 6 zeigt die Spannungskurven für die verschiedenen Kapazitäten. Auf die kleinste Kapazität von 0,224 Mikrofarad ist verzichtet worden, da das Pfeifen schon bei 1 mm aufhörte, und sich diese Messung deswegen schwierig gestaltete. Aus der Abbildung ersieht man, daß bis zu dem Kohlenabstande von 3 mm die Spannung bei jeder Kurve fast durchweg bis 60 Volt stetig steigt. Erst von hier ab, dem sogenannten kritischen Punkt, trennen sich die Kurven.

Betrachtet man Kurve 5 ohne Kapazität, so steigt sie von dem kritischen Punkte sehr schnell an, während die anderen weniger steil ansteigen. Kurve 1 mit der größten Kapazität steigt am schwächsten, so daß man wohl mit Recht annehmen kann, daß mit steigender Kapazität die Spannung fällt. Das Steigen der Spannung bei allen Kurven erklärt sich dadurch, daß bei größerem Kohlenabstand die Potential-Differenz steigt. Auch bei diesen Versuchen war es interessant zu beobachten, wie beim Schließen des Kondensatorstromkreises und dadurch zu Beginn des Pfeifens die Spannung plötzlich um 10 Volt fiel und sich dann erst konstant einstellte.

---



## V. Klemmspannung des Kondensators.

Wie schon früher bei der Berechnung der Periodenzahl nach der Thomson'schen Formel gesagt worden ist, ist von dem Widerstande abgesehen worden. Die Klemmspannung am Kondensator war nach G. P. Markowitch <sup>1)</sup>

$$e_c = E_m \cdot \cos \left( \frac{1}{\sqrt{C \cdot L}} \cdot t \right).$$

Interessanter ist es zu beobachten, was für einen Einfluß R bei einem komplizierten Stromnetz ausübt. Bezeichnet wie oben i den zur Zeit t durch den Stromkreis fließenden Strom,  $e_c$  die Klemmspannung des Kondensators, welcher der Ladung q entspricht, so muß nach dem Gesetz von Kirchhoff folgende Gleichung bestehen:

$$e_c = i \cdot R + L \frac{di}{dt}.$$

da aber  $e_c = \frac{q}{C}$ ,  $i = -\frac{dq}{dt}$  und  $\frac{di}{dt} = -\frac{d^2 q}{dt^2}$ ,

so folgt:  $\frac{q}{C} = -R \cdot \frac{dq}{dt} - L \cdot \frac{d^2 q}{dt^2},$

von wo  $\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C \cdot L} \cdot q = 0.$

Setzt man

$$q = e^{x \cdot t}, \quad \frac{dq}{dt} = x \cdot e^{x \cdot t} \quad \text{u.} \quad \frac{d^2 q}{dt^2} = x^2 \cdot e^{x \cdot t},$$

---

<sup>1)</sup> G. P. Markowitch. Spannungserhöhungen in elektrischen Netzen infolge Resonanz und freier elektrischer Schwingungen.



so kann man auch schreiben:

$$x^2 + \frac{R}{L} \cdot x + \frac{1}{C \cdot L} = 0.$$

Die Wurzeln dieser quadratischen Gleichung sind:

$$x_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}}$$

$$x_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}}$$

Das allgemeine Integral der Differentialgleichung zweiten Grades wird der Form nach sein:

$$q = A \cdot e^{x_1 \cdot t} + B \cdot e^{x_2 \cdot t}$$

oder, indem man für  $x_1$  u.  $x_2$  die Werte einsetzt.

$$q = e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \left[ A \cdot e^{\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}} \cdot t} + B \cdot e^{-\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}} \cdot t} \right]$$

Je nachdem die Größe

$$\sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C \cdot L}} = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{4L}{C}}$$

positiv oder negativ sein wird, erhält man reelle oder imaginäre Wurzeln, d. h. ist der Widerstand

$R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$ , so sind die Wurzeln reell, und ist

$R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$ , so sind die Wurzeln imaginär. Von

größtem Interesse ist der Fall, wo  $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$  ist. In diesem Falle kann die Entladung durch folgende Gleichung ausgedrückt werden.

$$q = Q \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \left[ \cos \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t + \frac{r}{2L \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}} \cdot \sin \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t \right]$$

Diese Gleichung läßt sich noch auf folgende Formen bringen:

$$q = Q_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos \left[ \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \int' \right]$$

wo 
$$Q_0 = Q \cdot \sqrt{1 + \frac{R^2 \cdot C}{4L - R^2 \cdot C}}$$

und 
$$\operatorname{tg} \int' = \frac{R}{2L \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$

Die Klemmspannung am Kondensator kann ausgedrückt werden durch

$$e_c = \frac{q}{C} = \frac{Q}{C} \cdot \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 \cdot C}} \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos \left[ \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \int' \right]$$

oder durch

$$e_c = E_m \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \cos \left[ \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t - \int' \right]$$

und die Stromstärke  $i$  durch

$$i = \frac{Q}{C \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 \cdot C}} \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t \right)$$

oder auch

$$i = J_0 \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t} \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}} \cdot t \right)$$

also auch im vorliegenden Falle, wo man den Widerstand des Stromkreises in Rechnung nimmt, für welchen die Bedingung  $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$  erfüllt ist, sind Stromstärke, Klemmspannung und Entladung oscillierend.

Daß eben bei solchem oscillirenden Entladungsvorgänge freie elektrische Schwingungen auftreten,

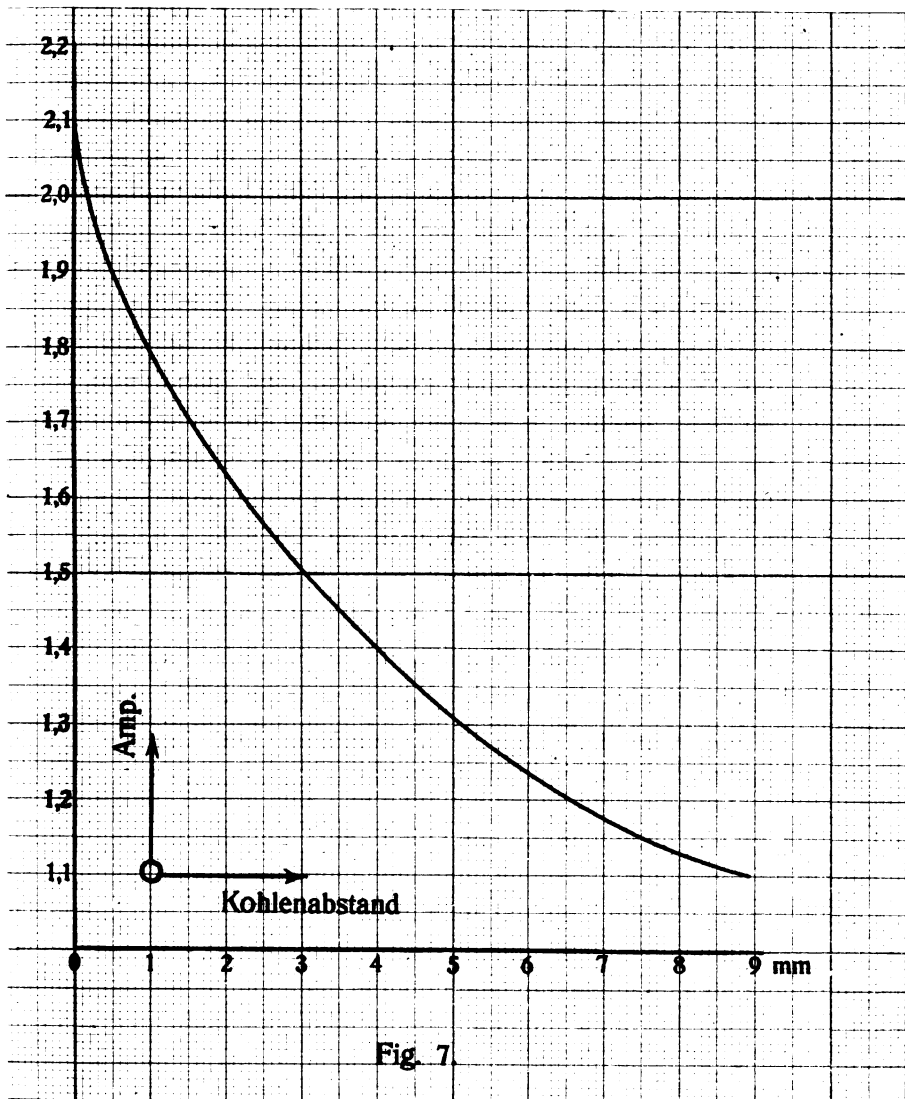
beweisen vorangegangene Versuche. Durch entsprechende Veränderungen von dem Widerstande  $R$ , der Kapazität  $C$ , der Selbstinduktion  $L$  kann man erreichen, daß die auftretenden freien Schwingungen das umgebende Medium, also die Luft, in solche Vibrationen versetzen, daß dieselben unserem Gehörorgan zugänglich werden, wie es die musikalische Bogenlampe beweist.

## VI. Stromstärke und Kohlenabstand.

Die vorher in III erwähnten Versuche sollten eigentlich mit einer Stromstärke von 3—5 Amp. ausgeführt werden, wie die älteren Versuche von Simon<sup>1)</sup>, Duddel<sup>2)</sup> etc. Da der Vorschaltwiderstand aber zu groß war, so wurde die Stromstärke geringer wie Fig. 7 zeigt. Die Stromstärke sinkt von 2,1 Amp. bei wechselndem Kohlenabstand allmählich bis auf 1,1 Amp. bei 9 mm Kohlenabstand. Die Stromstärke ist bei allen Kapazitäten gleich groß; man sieht also, daß in diesem Falle die verschieden großen Kapazitäten auf die Stromstärke keinen Einfluß ausüben.

<sup>1)</sup> Simon. Ann. d. Phys. u. Chemie 64, 1898, S. 233.

<sup>2)</sup> Duddel. The Electrician 1900.



## VII. Der Bogen als Telephon-Übertragungsapparat.

Die Schaltung Fig. 8 ist von Duddel <sup>1)</sup> angegeben; diese zeigte sich verschiedenen anderen Schaltungen überlegen. Die Resultate waren bei 4—5 cm Kohlenabstand gut; man konnte genau am Lichtbogen vernehmen, was vor dem einige Zimmer weiter aufgestellten Mikrophon (M) gesungen, gesprochen und gepfiffen wurde. Bei einem geringen Kohlenabstand von 1—2 cm gab der Bogen die in das Telephon hineingesprochenen Worte nur leise und unverständlich wieder. Bei langen Lichtbogen ist die Schwingungszahl der Sprache größer als diejenige des Bogens, so daß genau Obertöne und Untertöne zu verstehen sind. Der Erfolg war derselbe, wenn die Selbstinduktion S ausgeschaltet war, während das Sprechen sofort beim Ausschalten der Kapazität C aufhörte. Die Kapazität mußte mindestens 2 M. F. betragen.

---

<sup>1)</sup> The Electrician 1900.

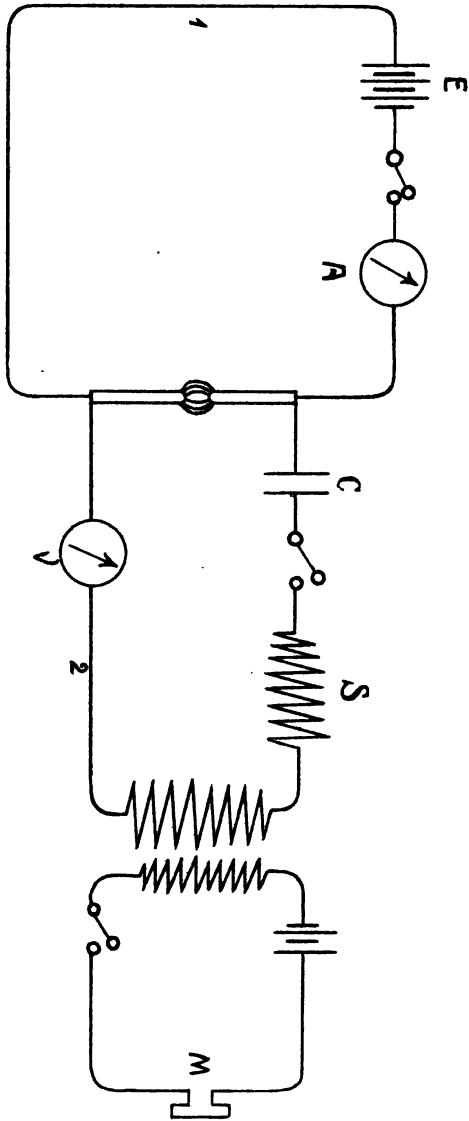


Fig. 8.

## VIII. Ergebnis der Untersuchung.

Die Untersuchung in Kap. III hat gezeigt, wie hoch sich die Tonhöhe steigern läßt. Andere Versuche, wie die von Blondel<sup>1)</sup>, haben allerdings auch schon beträchtliche Schwingungszahlen ergeben, wovon seine mit dem Oscillographen angestellten Experimente Zeugnis geben. Ferner sieht man auch aus der Abbildung 4, wie die Tonhöhe mit dem größer werdenden Kohlenabstande fällt. Den bedeutendsten Einfluß auf die Tonhöhe übt die Kapazität aus. Die Tonhöhe steigt zwar mit fallender Kapazität, wird aber für das menschliche Ohr weniger vernehmlich, während bei der Vergrößerung der Kapazität der Ton fällt und auch lauter und genau hörbar wird.

Hätte man stets bei dem Motor dieselbe Tourenzahl und auch immer dieselbe Entfernung  $r$  vom Spiegel bis zur photographischen Platte gehabt, so wären die Photographien gleichmäßiger geworden. Da die Schwingungszahl von mm zu mm dann besser ersichtlich gewesen wäre, so hätte man dann eine Skala gehabt, durch die es sehr leicht möglich gewesen wäre, aus der Schwingungszahl die Größe der Kapazität abzulesen.

<sup>1)</sup> A. Blondel. Des Séances de l'Académie des Séances. 1905, Bd. 26 u. 28.

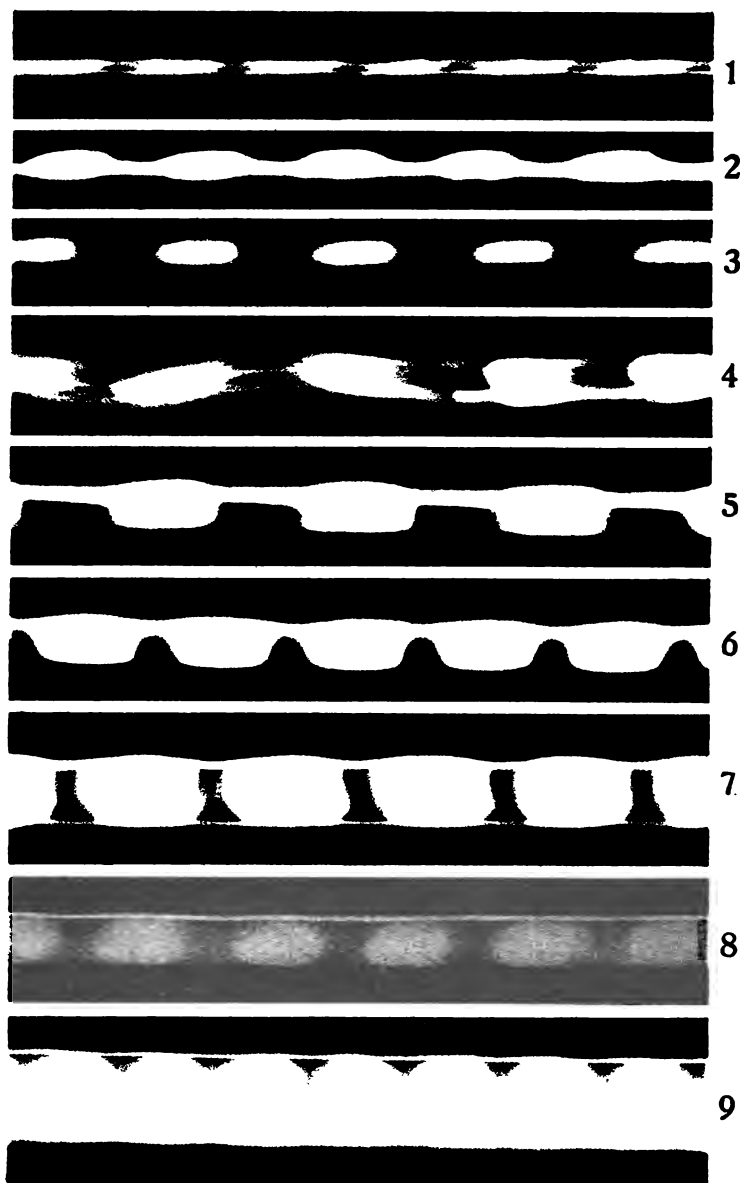


Vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Landesuniversität R o s t o c k angefertigt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Wachsmuth für die Anregung der vorliegenden Arbeit und seine freundlichst gewährten Ratschläge meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Herrn Professor Dr. Martens danke ich für Unterstützung bei der Anordnung der Arbeit.





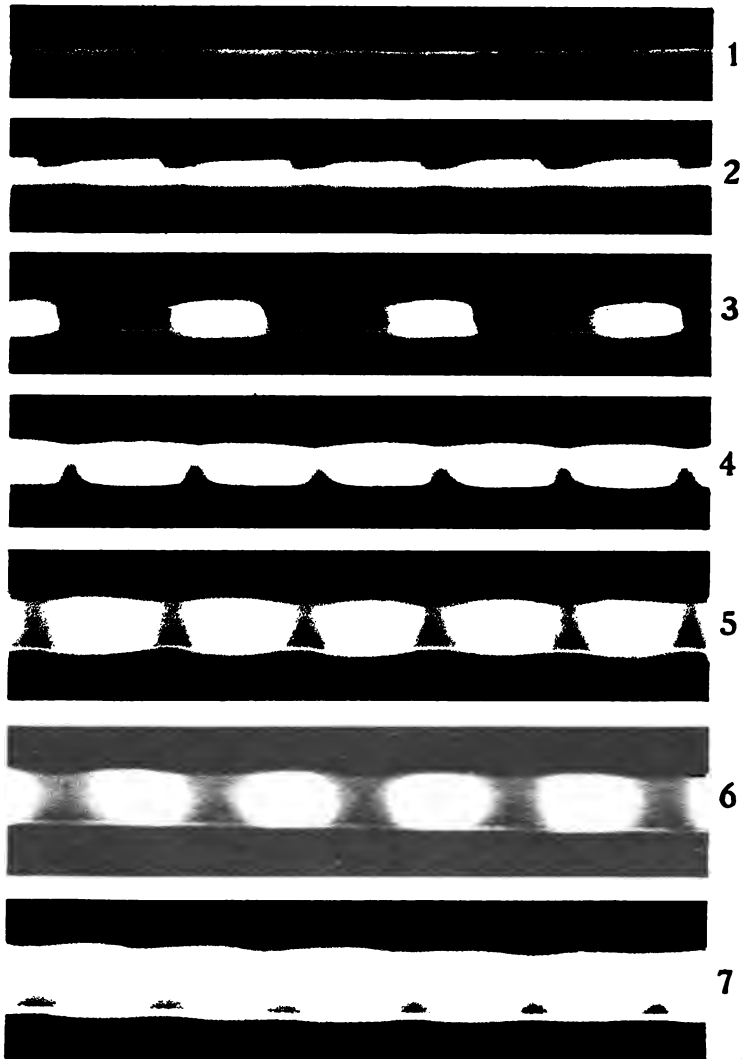
# Tafel 1.



Kapazität = 3,226 Microfarad.



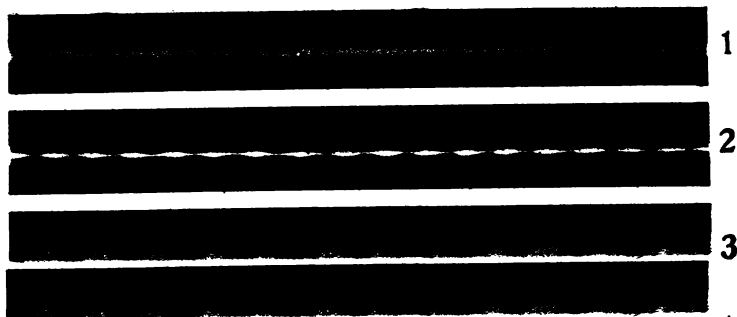
## Tafel 2.



Kapazität = 2,757 Microfarad.

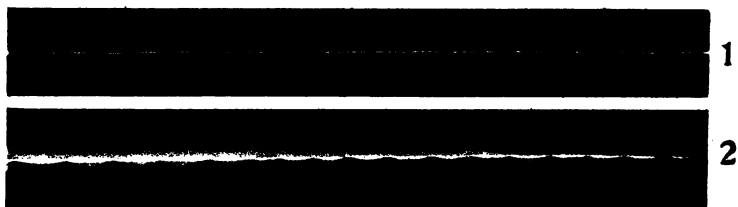


### Tafel 3.



Kapazität = 0,469 Microfarad.

### Tafel 4.

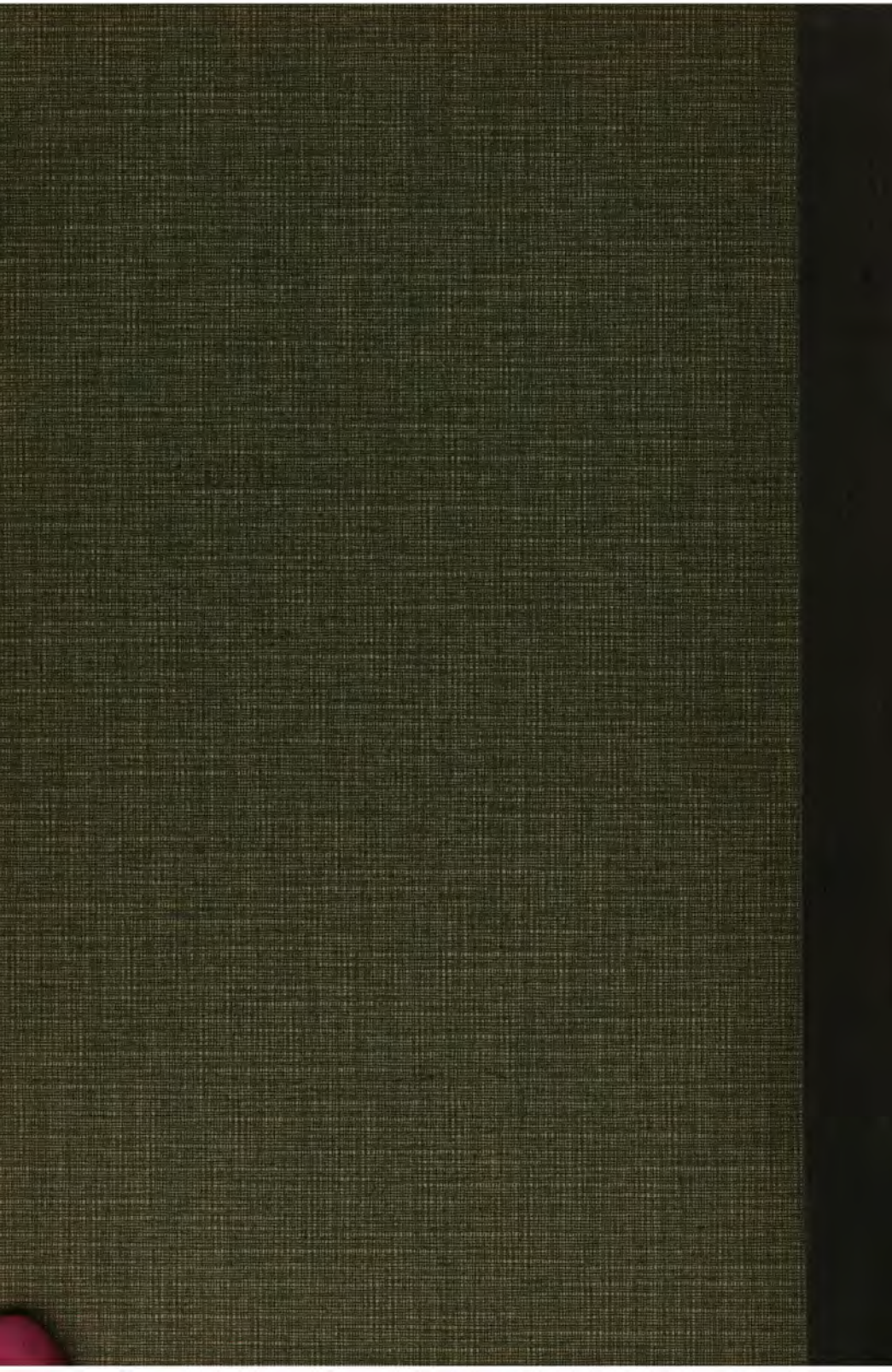


Kapazität = 0,224 Microfarad.









YC

Schalhorn

162654

QC70.5

S4

